

피에조콘의 간극수압 소산시험에 관한 연구

A Study on the Pore Pressure Dissipation Test of the Piezocone

황 대 진*¹

Hwang, Dae-Jin

김 철 응*²

Kim, Cheol-Ung

Abstract

A degree of consolidation at any time can be evaluated by using cone penetration test after soil improvement. In this case, after stopping the penetration of a piezocone, pore pressure dissipation(PPD) test is carried out until the pore pressure remains constant. Since the hydraulic conductivity of soft ground is very small, it takes very long time to finish the PPD test.

This research is performed to develop a method overcoming this problem of the PPD test and reducing the test time. The analyses are carried out in the following ways : an equilibrium pore pressure can be determined by using pore pressure measured in the middle of the test, which is predicted by hyperbolic, Asaoka and Hoshino methods. And this equilibrium pore pressure is compared with the one measured in a test of long duration. As a result of the study, it is found that Hoshino method is the best way to predict the equilibrium pore pressure in a test of short duration. And it is proposed as a methodology to find a minimal time in which we can get an equilibrium pore pressure.

요 지

피에조콘을 이용하면 연약지반 개량후 임의의 시점에서 지반의 압밀도를 파악할 수가 있다. 이 경우 임의의 심도에서 피에조콘의 관입을 멈추고 간극수압이 일정한 값에 이를 때까지 간극수압 소산시험을 실시하는데, 연약지반의 투수계수가 작기 때문에 대체적으로 상당히 오랜 시간 동안 소산시험을 하게 된다.

본 논문에서는 침하 분석기법 가운데 일반적으로 널리 알려져 있는 쌍곡선법, 아사오카법, 호시노법을 이용하여 간극수압 소산시험시의 평형간극수압을 각각 추정후 장시간에 걸친 실제 시험결과와 비교함으로써 간극수압 소산시험에 소요되는 시간을 단축할 수 있는 방법을 연구하였다. 그 결과, 호시노법을 이용한 추정방법이 가장 적합한 방법임을 알 수 있었으며 이를 이용한 효율적인 간극수압 소산시험 방법을 제시하였다.

Keywords : Piezocone, Dissipation test, Degree of consolidation, Pore pressure

*1,2 정회원, 삼성 건설기술연구소 선임연구원

1. 서론

콘관입시험은 오래전부터 유럽지역을 중심으로 많이 사용되어 왔으나 국내의 경우 상대적으로 지반조건이 탁월하고 토사지반도 화강 풍화토로 구성되어 있는 곳이 많은 관계로 많이 이용되지는 않았다. 점성토를 포함하는 연약지반의 경우 피에조콘 관입시험은 지반의 간극수압을 측정할 수 있다는 점등의 장점에 때문에 널리 이용되고 있다. 국내의 경우도 최근에는 준설패립에 의한 공단조성등으로 연약층을 상당부분 포함하는 지반의 경우 지반개량을 실시하며, 지반조사 뿐만 아니라 지반개량의 효과를 추정하기 위해서도 콘관입시험이 많이 이용되고 있다.

피에조콘을 지반에 관입하면 콘의 선단저항값, 슬리브의 주변마찰력 및 간극수압을 연속적으로 측정할 수 있으며 이로부터 토질의 종류 및 특성을 파악할 수 있게 된다. 지반의 특성을 알기 위해 임의의 심도에서 콘관입을 중지시키고 적당한 시간(일반적으로 관입에 의해 발생한 과잉간극수압이 50% 소산되는 시간) 동안 간극수압 소산시험(PPD test)을 실시하면, 소산시간에 따른 간극수압의 변화를 기록하여 점성토지반의 압밀특성 및 투수특성을 파악할 수 있다.(Levadoux and Baligh, 1986) 또한 콘관입에 의하여 발생된 과잉간극수압이 완전히 소산될 때까지 소산시험을 실시하면 콘관입전 지반내의 간극수압 즉, 평형간극수압을 알 수가 있기 때문에 이를 이용하여 개량지반의 잔류 과잉간극수압 및 압밀도를 파악할 수 있다.

점성토지반에 있어서의 간극수압 소산시험은 점성토의 정상과 시험방법은 물론, 시험의 목적에 따라서도 시험시간이 달라지게 된다. 특히 개량지반의 압밀도 추정을 위하여 실시되는 소산시험은 관입에 의하여 발생된 과잉간극수압을 완전히 소산시켜야 하기 때문에 투수계수가 매우 작은 일반 점성토에 대해서는 보통 수시간에서 십지어 수일에 이르기까지 상당히

많은 시간이 소요된다. 이 경우 작업속도의 지연, 장시간 장비가동에 따른 에너지 소모 및 장비에 무리가 따를 수도 있어 소산시험시간을 최소화할 수 있는 효율적인 시험방법이 요구되고 있다.

본 연구에서는 부산지역의 2개 현장에서 실시한 총 10회의 간극수압 소산시험 결과를 이용하여 간극수압의 소산특성을 분석한 후, 최종 압밀침하량을 예측하기 위한 기법으로 이용되고 있는 쌍곡선법(hyperbolic method), 아사오카법(Asaoka method), 호시노법(Hoshino method)(土質工學會, 1988)을 적용하여 구한 최종 간극수압이 실측치와 비교하여 어느 정도 차이가 발생하는지, 그리고 어느 방법이 가장 빠른 시간내에 최종 간극수압으로 수렴하는지를 살펴보았다. 또한 최종간극수압을 이용한 압밀도 계산결과를 평가함으로써 간극수압 소산시험에 가장 적합한 분석기법을 제시하였다.

2. 시험장비 및 시험방법

2.1 시험장비

본 연구에 사용된 CPT 장비는 네덜란드 GMF Gouda 사의 장비로서, 최대관입력은 약 20톤 정도이며 모든 작업은 컨테이너형의 작업실에서 전천후로 이루어지도록 되어 있다. 또한 무한궤도(캐터필러)가 장착됨으로써 자체적으로 근거리 이동이 가능하고 접지압을 감소시켜 매우 연약한 지반에도 진입이 가능하도록 되어 있다. 시험장비의 자체 중량이 20톤 정도로서 관입시의 반력에 대해 지지 가능토록 하여 별도의 반력앵커를 설치할 필요가 없으며 따라서 작업이 용이하고 신속하게 작업할 수 있는 장점이 있다. 장비의 개념도는 그림1에 나타나 있으며 이에 대한 주요 사양은 다음 표 1과 같다.

표 1. 사용장비의 주요 사양

구분	사양	
관입장치	최대관입력	200KN
	최대인발력	250KN
	관입방법	유압식
컴퓨터/주변기기	Data Logger	8Channel
	Memory Card	512KB
	Plotter/Printer/Keyboard	
전기식 콘 [Piezocone / 4channels]	최대 콘 저항값	100Mpa
	최대 마찰력	1000Kpa
	최대 간극수압	20Bar
	한계 경사각	15°
	콘의 단면적	10cm ²
	슬리브 표면적	150cm ²
	다공질 필터의 위치	콘팁 상단
기타	Levelling Jack	전·후 총 3개소
	Rod / Cable	60m 관입 기준

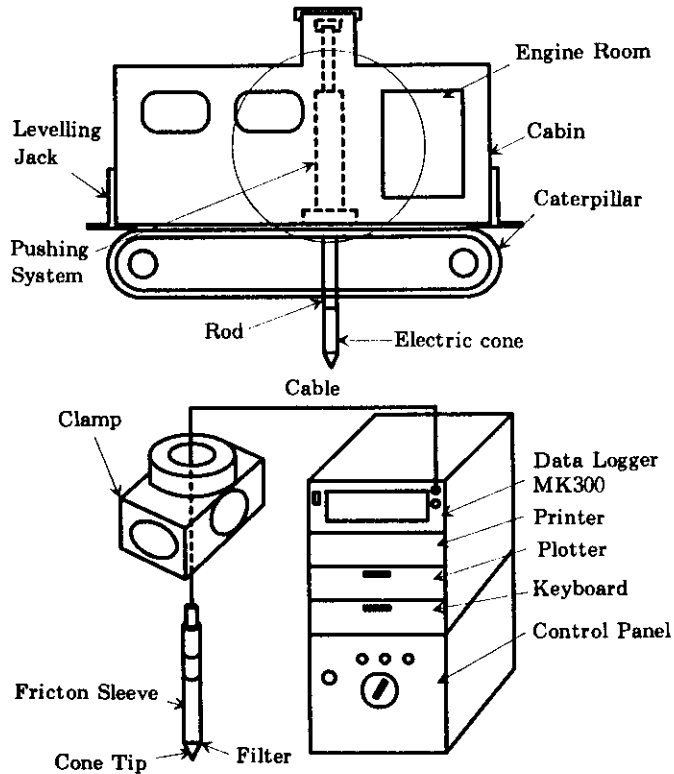


그림 1. CPT 장비의 개념도

2.2 시험방법

본 실험에 사용된 콘은 선단저항값(q_c), 슬리브의 주면마찰력(f_s), 간극수압(u), 콘의 경사(I) 등을 측정할 수 있으며, 측정 데이터를 이용하여 깊이에 따른 토질의 분류 및 지반의 역학적 특성, 압밀특성 등을 추정할 수 있는 최신형 피에조콘이다. 한편 신뢰도 높은 시험데이터를 얻기 위해서는 작업전 사전준비, 콘의 포화, 일정한 관입속도, 적절한 소산시험 등이 중요하며, 특히 콘의 완전한 포화가 매우 중요하여 이에 대한 세심한 주의가 필요하다고 할 수 있다.

2.2.1 작업전 사전준비

1) 콘의 Calibration

시험 착수전에 calibration unit을 이용하여 피에조콘의 선단저항값 및 주면마찰력에 대한 검측을 실시함으로써 측정센서의 정확도를 확인하였다.

2) 표토 제거

본 시험대상 지반은 상부에 성토시 포함된 호박돌등이 약 5m 정도 산재하고 있어 관입시의 콘의 손상을 예방하기 위하여 5m 정도 지표면을 굴착한 후 양질의 모래로 치환한 다음 장비를 위치시켰다.

3) 장비수평 유지

장비의 수평유지가 매우 중요하며, 수평이 유지되지 않은 상태에서 콘을 관입시키게 되면 콘 및 룯드가 수직으로 관입되지 못하게 된다. 따라서 본 시험에서는 장비에 장착되어 있는 3개소의 유압식 leveling jack을 이용하여 장비를 완벽하게 수평으로 맞춘 후 관입을 실시하였다.

2.2.2 콘의 포화

피에조콘의 기능이 충실하게 수행되기 위해서는, 다공질필터를 완전히 포화시켜야 하며 지하수위가 지표면에서 어느 정도의 깊이 존재하는 경우 지하수위 상부에서의 콘관입시에 포화된 다공질 필터로부터 포화수의 유출이 가

능한 적게 되도록 매우 주의를 기울여야 한다. (Swedish Geotechnical Institute, 1995)

콘팁과 다공질 필터를 글리세린에 잠기게 한 후 진공펌프를 이용하여 수 시간에 걸쳐 공기를 제거한다. 일단 다공질 필터가 포화하게 되면 글리세린의 점도가 높아져 좀처럼 쉽게는 유출이 되지 않기 때문에 포화도를 유지할 수 있게 된다. 그 다음 포화된 콘팁과 다공질 필터를 글리세린 속에 잠긴 상태로 운반한 후 probe와 결합한다. 결합시 probe는 거꾸로 고정시킨 후 콘팁과의 결합부위에 역시 글리세린을 채워 공기를 제거한 다음 가능한 신속하게 결합한다. 초기 관입시까지의 포화도를 최대한 유지하기 위하여 결합된 콘팁 및 다공질필터 주위를 고무밴드 등으로 감싸주었다.

2.2.3 콘의 관입

콘의 관입은 일정한 속도를 유지하면서 연속적이며 자동적으로 이루어진다. 본 장비의 관입속도는 약 2cm/sec로서, 이는 ASTM D3441에 규정되어 있는 값 [(1~2cm)±25%]의 범위에 일치하고 있다. 만일 관입속도가 너무 느리게 되면 배수조건이 되는 경우가 있으며 이는 피에조콘 해석의 기본조건인 비배수상태와 상이하게 되어 결과에 커다란 영향을 미칠 수도 있으므로 주의해야 한다.

2.3.4 간극수압 소산시험

콘이 관입할 때에는 관입에 의한 과잉간극수압이 발생하게 된다. 시험도중 소정의 심도에서 관입을 중지하고 과잉간극수압 소산시험을 실시하면서 시간의 경과에 따른 간극수압의 변화형태 및 소산속도를 도식화하면 수평압밀계수등의 압밀특성 및 투수특성을 파악할 수 있게 된다. (Baligh and Levadoux, 1980) 본 연구에 사용된 장비는 처음 1분간은 5초 간격, 다음 30분 간은 30초마다 그리고 그 이후부터는 5분마다 1회씩 자동적으로 간극수압을 읽게 되어 있다.

한편, 개량지반의 성토하중에 의한 압밀도를 정확하게 산정하기 위해서는 현재 지반이 가지

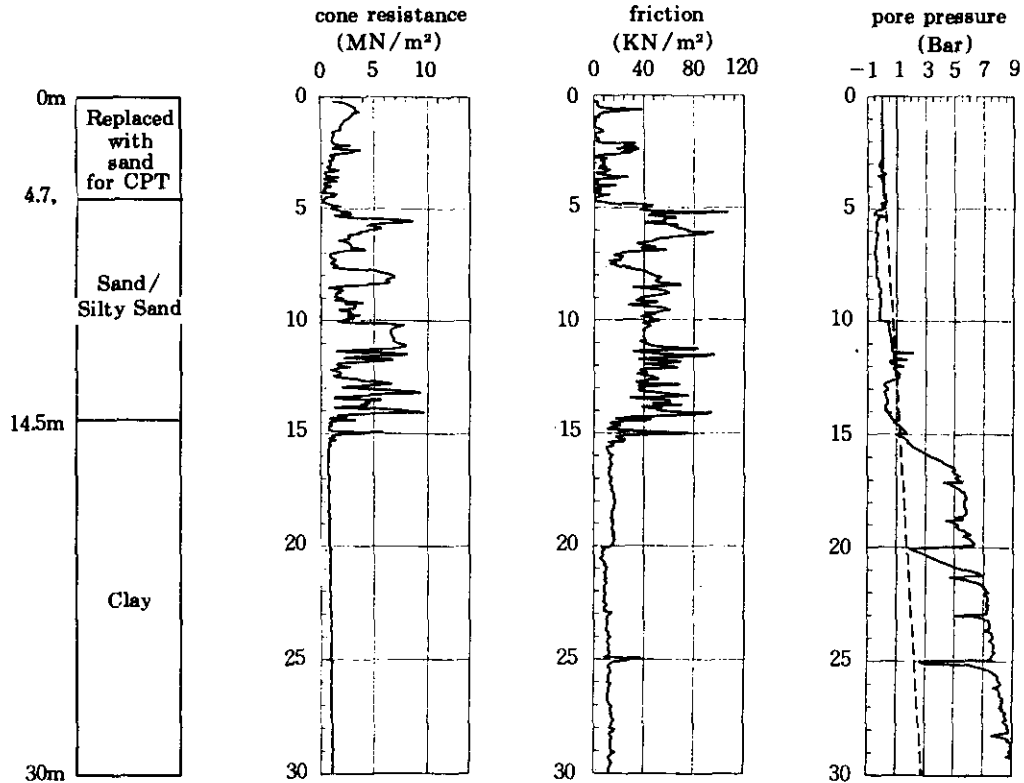


그림 2. 피에조콘의 관입시험 예

고 있는 잔류과잉간극수압을 알아야만 하는데, 콘 관입에 의한 과잉간극수압이 소산되어 관입 전 지반이 가지고 있던 평형간극수압(equilibrium pore pressure)에 수렴될 때까지 충분한 시간동안 소산시험을 실시하여야 한다. 즉, 콘 관입시 간극수압 센서에서 측정되는 값은 관입에 의한 과잉간극수압이 포함된 값이므로 과잉간극수압 소산시험을 실시하여 이를 제거한 후에야 현재 지반의 평형간극수압(정수압+잔류과잉간극수압)을 측정할 수 있게 된다.

3. 시험내용 및 시험결과

3.1 시험개요

시험을 실시한 대상지역은 부산시 강서구 신

호동 일대의 공단조성 지역으로, 단지내 도로 축조를 위하여 매우 연약한 해성점토층을 포함하고 있는 도로부를 대상으로 preloading 과 팩드레인(pack drain)을 이용한 지반개량을 실시한 곳이다. 지반의 구성은 상부 10~15m의 모래층과 그 하부에 약 35~40m의 점토층으로 구성되어 있으며, 지표면으로부터 30m까지 팩드레인을 실시하여 점토층의 중간부위까지 개량된 상태이다. 이 지역의 지하수위는 GL-2.0m정도이며, 해안과 근접된 지역인 관계로 조수간만에 의해 약간의 차이가 있다. 시험을 실시한 지역의 지반에 대한 물성치는 표2와 같다.

피에조콘의 관입시험은 총 5공 실시하였으며 간극수압 소산시험은 공당 2회씩 총 10회

표 2. 지반의 물성치

Depth(m)	USCS	IP (Plas. Index)	Gs (spec. Grav.)	γ_t (Unit Wt.)	com. strength (kgf/cm ²)
13~13.8	CL	25.7	2.66	-	-
18~18.8	CH	28.9	2.69	1.722	0.511
23~28	CH	33.3	2.66	1.612	0.367
28~28.8	CH	40.6	2.66	-	-
33~33.8	CL	18.2	2.67	1.754	0.894
8~38.8	CL	11.3	2.65	-	-

실시되었다. 그림2에 공단내의 중앙도로부에 대한 콘관입시험의 대표적인 결과를 나타내었다.

3.2 점성토지반의 간극수압 소산곡선

피에조콘 관입시험시 콘은 일반적으로 2cm/sec의 속도로 관입되는데, 간극수압 소산 시험을 실시하기 위하여 콘관입을 중단하면 관입속도는 0으로 떨어지게 되면서 연직응력(normal stress)의 해방에 의하여 관입시 발생된 과잉간극수압은 시간이 경과하면서 점차로 감소하게 된다.(Robertson and Campanella, 1989) 점성토 지반에서의 전형적인 간극수압 소산곡선은 그림 3과 같다.

그림 3은 부산 신호공단 조성공사 현장의 압밀이 진행중인 지역을 대상으로 표준 시험방법으로 48시간 동안 소산시험을 실시한 결과로서, 그림 3(a)를 살펴보면 과잉간극수압은 초기에 급격히 감소하다가 어느 정도의 시간이 지나면서 감소율이 점차로 작아지게 되며 결국은 일정한 값으로 수렴되는 형태를 보이고 있다. 그 수렴값은 콘관입전의 간극수압인 [정수압+잔류 과잉간극수압]을 나타낸다. 그러나 그림 3(b)와 같이 시간축에 log를 취해 보면 48시간 동안 소산시험을 실시하였음에도 불구하고 일정한 값에 완전히 수렴되지 않았으며 여전히 간극수압은 아주 조금씩 줄어들고 있어, 일정한 값인 평형간극수압으로 수렴하기 위해서는 상당한 시간이 소요됨을 알 수 있다.

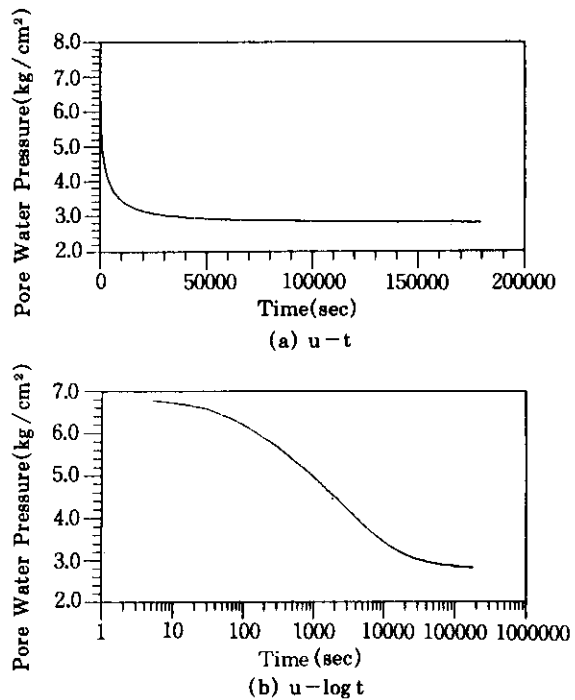


그림 3. 전형적인 간극수압 소산곡선

물론 점성토의 압밀특성과 투수특성 그리고 시험방법 등에 따라서 총 소산시간은 달라지겠지만 이렇게 장시간이 요구되는 경우에는 시험운영상 여러 가지 문제가 발생할 수도 있게 된다. 따라서 소산시간이 상당시간 소요되는 경우에는 시간에 따른 간극수압의 변화를 관찰하면서 적당한 시간에서 시험을 종료하고 그 때까지의 데이터를 이용하여 최종 수렴값을 추정할 필요가 있다.

한편 간극수압의 소산과정은 압밀침하 과정과 유사하기 때문에 압밀침하 데이터로부터 최종침하량을 예측할 수 있는 쌍곡선법, 아사오카법 그리고 호시노법등 기존의 기법들을 적용하여 간극수압의 수렴값을 찾을 수 있으며, 이들 방법 가운데에서 가장 빠른 시간 혹은 가장 적은 데이터로 간극수압의 최종수렴값을 추정할 수 있는 방법이 있다면 이를 이용하여 소산시간을 효율적으로 단축할 수 있다.

3.3 각 예측기법에 의한 간극수압의 수렴값 추정

3.3.1 시험데이터 및 간극수압 수렴값 추정방법

각 위치마다의 심도별 소산시험 결과는 다음 그림 4와 같다. 총 10개소 중 2개소에서는 48시

간 정도의 장시간 시험을 실시하였으며 나머지 8개소에 대해서는 20시간 내외의 시험을 실시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 20시간 정도 간극수압 소산시험을 하여도 대체적으로 완전히 수렴값에는 도달하지 않은 상태이며, 48시간 후에는 거의 수렴되는 양상을 보이고 있어 평형간극수압까지 수렴되기 위해서는 상당한 시간이 소요됨을 알 수 있다.

평형간극수압을 찾기 위하여 24시간까지는 1시간 간격으로 그 이후는 3시간 간격으로 데이터를 분할하였으며, 각 시간대까지의 총 데이터로부터 각각의 수렴값을 추정한 후 이들 수렴값의 시간대별 변화를 관찰하였다. 아사오카 방법에서는 Δt 를 시험장비의 특성상 가능한 최소간격인 5분으로 하였다.

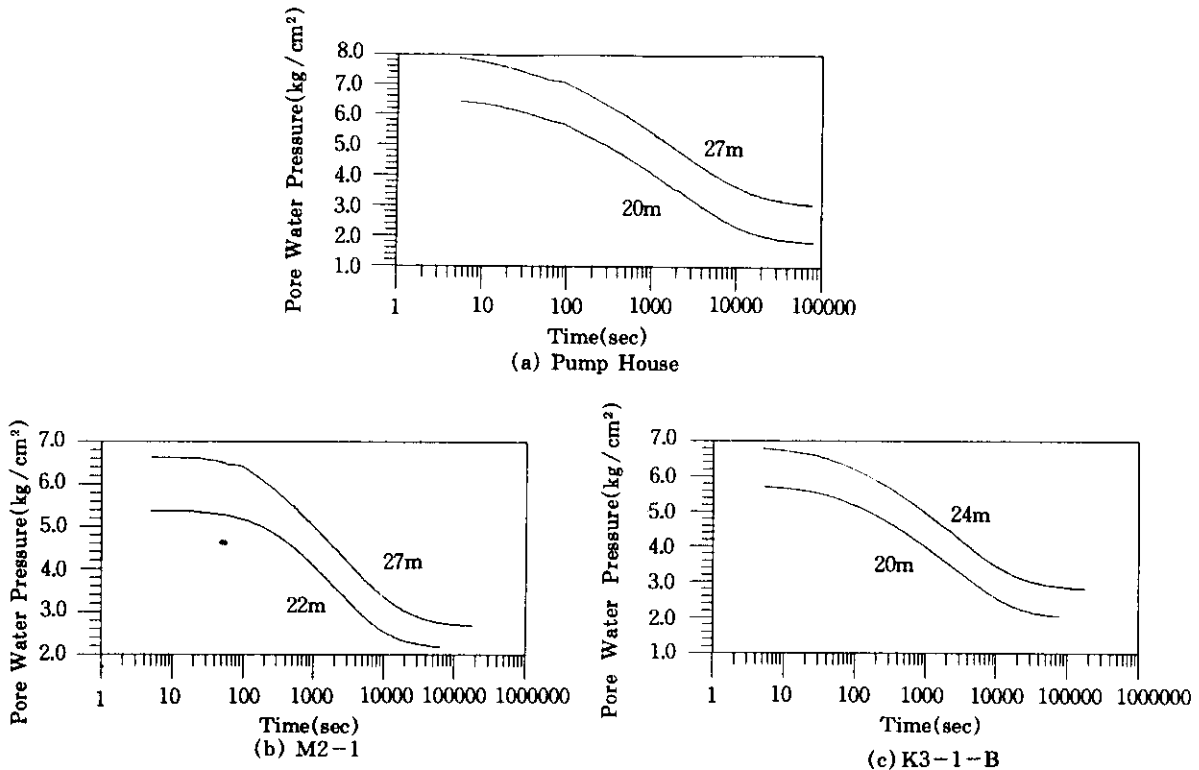


그림 4. 시험위치별 소산시험 결과

3.3.2 간극수압 수렴값 추정결과

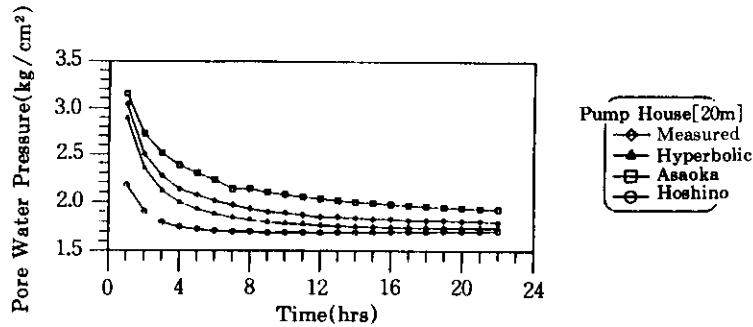
분석 결과는 그림 5~그림 7과 같다. 그림에서 마름모를 연결한 선은 최종침하량 추정법을 적용하지 않은 원래의 시험결과이며, 삼각형을 연결한 선은 쌍곡선법을 이용한 분석한 결과를 나타내고, 사각형은 아사오카법을, 원형은 호시노법에 의한 분석결과를 나타낸다.

각 그림의 (a)는 시간대별 간극수압 수렴값의 추정결과를 나타낸다. 즉 각 점들은 그 점에 해당하는 시간까지의 총 소산데이터를 이용하여 각 분석방법별로 간극수압 수렴값을 추정한 결과이다. 예를 들어 10시간에 해당하는 점은 10시간 동안의 간극수압 소산데이터를 대상으로 쌍곡선법, 아사오카법 그리고 호시노법을 이용하여 수렴값을 구한 결과를 나타낸다. 각 시간대별 최종 수렴값 추정시 상관계수(R^2)는 추정방법에 관계없이 대부분 0.95~1.00의 범위로서 상관도가 매우 우수함을 알 수 있었다. 각 그림의 (a)로부터 시간대별 및 분석방법별

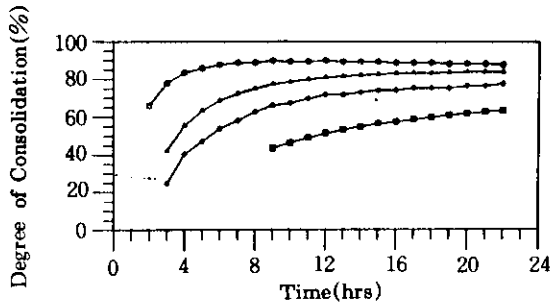
간극수압 수렴값의 크기를 비교할 수 있었다.

그림 (b)에서는 그림 (a)의 간극수압 수렴값으로부터 잔류 과잉간극수압을 구하고 이를 압밀도로 환산하였을 때의 결과를 나타내었다. 이로부터 시간대별 및 각 분석방법별 추정압밀도의 크기를 비교함으로써 추정된 간극수압 수렴값의 차이가 압밀도로 환산시 어느 정도 영향을 미치는가를 알 수 있었다. 압밀도 환산결과 음의 값을 얻는 경우가 있는데 이는 추정된 잔류 과잉간극수압이 성토에 의해 발생한 초기 과잉간극수압보다 크기 때문에 나타나는 경우이며 그래프에서는 제외시키고 양의 값을 갖는 압밀도만을 도식화하였다.

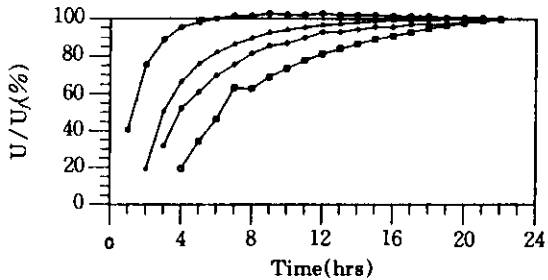
한편 최종압밀도대비 각 시간대별 압밀도의 계산 결과를 그림의 (c)에 나타내었다. 시험 종료까지의 데이터로부터 추정된 압밀도를 100%로 놓았을 때 최종압밀도 대비 각 시간대별 산정된 압밀도의 크기를 알 수 있었다.



(a) 분석시간별 간극수압의 수렴값



(b) 분석시간별 추정압밀도



(c) 최종압밀도 대비 추정압밀도

그림 5. 분석결과(pump house : 20m)

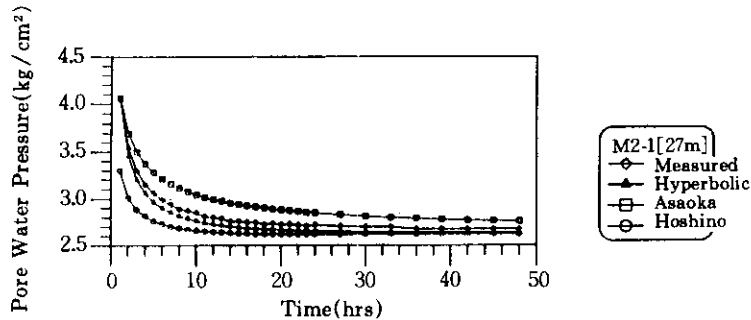
4. 결과 분석

4.1 분석시간별 간극수압의 수렴값

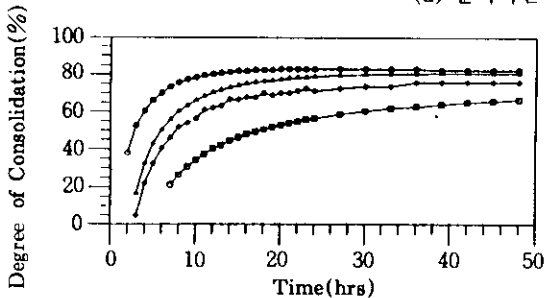
그림 5~그림 7의 분석시간별 간극수압의 수렴값을 전체적으로 살펴보면 쌍곡선법, 아사오카법, 호시노법 모두 다 분석시간이 길수록 간극수압 수렴값은 대체로 점점 더 작은 값이 추정된다. 쌍곡선법 및 호시노법에 의하여 추정된 시간대별 간극수압 수렴값은 분석기법을 적용하지 않은 원래의 데이터(measured)보다 작은 값으로서, 이는 원래의 데이터가 완전히 수렴되지 않은 상태에서 분석시간대 이후의 간극수압 소산분이 추정에 의하여 적절하게 반영되었기 때문이라 할 수 있다. 그러나 아사오카법에 의하여 추정된 시간대별 최종간극수압은 원래의 데이터보다도 큰 값을 보이고 있다. 시간대별로 추정된 간극수압 수렴값은 일반적으로 원래의 데이터보다는 반드시 작거나 적어도 같은 값을 가져야 하므로 간극수압 수렴값의 추정방법으로서 아사오카법은 부적절한 방법으로 판단된다.

쌍곡선법에 의하여 추정된 분석시간별 간극수압 수렴값의 변화추이는 원래의 데이터(measured) 곡선과 유사한 형태로서 소산시간이 경과할수록 호시노법에 의하여 추정된 수렴값의 변화곡선에 점점 접근함을 알 수 있다. 이는 48시간 동안 소산시험을 실시한 그림 6 및 그림 7의 분석시간별 간극수압의 수렴값 그래프를 살펴보면 더욱 확실하게 알 수 있다.

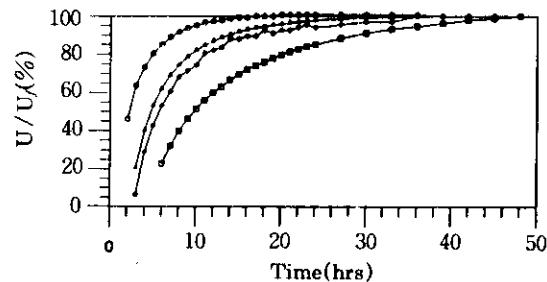
한편 호시노법에 의한 분석시간별 간극수압 수렴값의 변화추이를 살펴보면 다른 방법에 비하여 가장 작은 간극수압 수렴값을 추정하게 되며, 대체적으로 빠른 시간에 수렴된 후 시험 종료까지 일정한 값을 유지하는 형태를 보인다. 따라서, 세 가지 방법중에서 호시노법이 가장 먼저 간극수압 수렴값을 알 수 있다는 것과, 원래의 데이터와 쌍곡선법에 의하여 추정된 곡선이 소산시간이 경과할수록 호시노법에 의하여 추정된 곡선으로 접근해 간다는 사실로부터 최종 간극수압 수렴값을 추정하기 위한 방법으로서 호시노법이 효율적이며 신뢰성이 있다고 판단할 수 있다.



(a) 분석시간별 간극수압의 수렴값



(b) 분석시간별 추정압밀도



(c) 최종압밀도 대비 추정압밀도

그림 6. 분석결과(M2-1:27m)

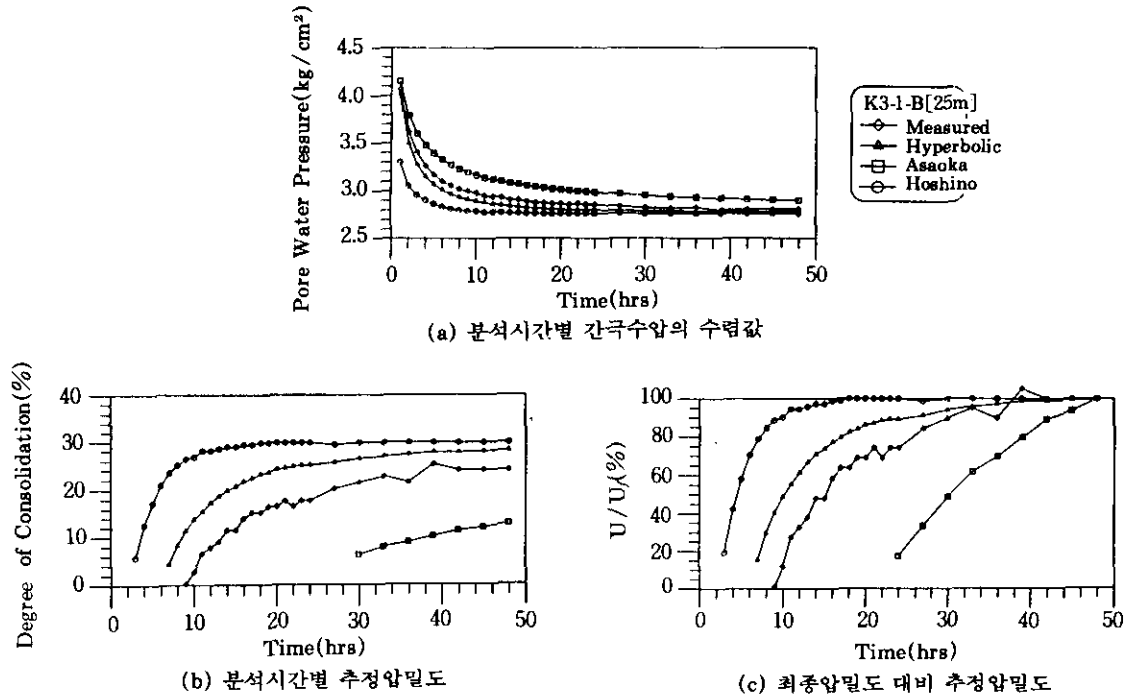


그림 7. 분석결과(K3-1-B : 25m)

4.2 분석시간별 추정압밀도 및 최종압밀도 대비 추정압밀도

간극수압 소산시험시 최종수렴값을 알기 위한 주목적은 압밀도 산정을 위한 것이므로 각 분석방법별로 추정된 간극수압 수렴값으로부터 압밀도를 산정하여 분석시간별 압밀도의 변화를 비교하여 보았다.

그림 5~7의 분석시간별 추정압밀도를 살펴보면 시간대별 간극수압 수렴값이 점점 작아질수록 압밀도는 점점 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, 호시노법에 의하여 추정된 값을 제외하고는 모두 소산시간이 증가할수록 지속적으로 증가하는 형태로서 수렴되는 일정한 값을 찾기가 어렵다. 반면에 호시노법에 의하여 추정된 압밀도의 변화추이를 살펴보면 최종 간극수압의 경우와 마찬가지로, 대체적으로 빠른 시간에 수렴된 후 시험종료까지 거의 일정한 값을 유지하는 경향을 보이고 있어 다른 방

법에 비하여 역시 효율적인 분석방법으로 판단된다.

마찬가지로 최종압밀도 대비 시간대별 압밀도의 변화곡선에서도 호시노법에 의한 분석결과를 이용하는 것이 가장 빠른시간내에 압밀도 예측을 할 수 있었다.

4.3 간극수압 소산시험 방법 개선

압밀도 산정을 위한 간극수압 소산시험시 소산시간이 짧으면 압밀도가 작게 산정되어 오차가 크게 발생되고 반대로 소산시간이 너무 길어지게 되면 4.1절에서 언급한 바와 같이 비효율적인 시험이 되기 때문에 다음과 같은 방법을 추천하는 바이다. 즉, 소산시험이 진행됨과 동시에 시간에 따른 간극수압의 변화를 지속적으로 읽은 후 호시노법을 이용하여 간극수압 수렴값을 추정한다. 일정시간이 경과한 후에 새로운 데이터가 모아지면 이를 추가하여 다시

간극수압 수렴값을 추정하고 이를 반복하면서 최종간극수압 추정치의 시간대별 변화를 관찰한다. 간극수압 수렴값의 감소분이 점점 줄어들어 일정한 간극수압에 도달하게 되면 시험을 중단하고 그 때의 간극수압을 최종간극수압 즉, 평형간극수압으로 고려한다.

5. 결 론

본 연구에서는 최종 압밀침하량을 예측하기 위한 기법으로 이용되고 있는 쌍곡선법, 아사오카법, 호시노법을 적용하여 구한 최종 간극수압이 실측치와 비교하여 어느 정도 차이가 발생하는지 그리고 어느 방법이 가장 빠른 시간내에 최종 간극수압으로 수렴하는지를 살펴 보았으며 그 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

- 1) 쌍곡선법, 아사오카법, 호시노법 모두 분석시간이 길수록 간극수압 수렴값은 점점 더 작은 값이 추정되었으며 결국, 일정한 값으로 수렴되는 경향을 보였다.
- 2) 시간대별 간극수압 수렴값의 추정값은 아사오카법, 쌍곡선법, 호시노법 순서로 점점 작은 값이었으며, 이 가운데에서 아사오카법은 분석기법을 적용하지 않은 원래의 데이터보다도 큰 값이 추정되어서 분석기법으로 부적합한 것으로 판명되었다.
- 3) 호시노법은, 다른 방법보다 평형간극수압

예측을 위한 수압측정시간을 단축할 수 있었고 그 수렴값도 타당한 값이어서 평형간극수압 추정방법으로서 적절한 방법임을 알 수 있었다.

- 4) 평형간극수압을 알기 위한 소산시험의 적절한 결과분석 방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. 土質工學會 (1988), 軟弱地盤對策工法調査・設計から施工まで, pp. 364-366.
2. Baligh, M.M. and Levadoux, J.N. (1980), "Pore Pressure Dissipation After Cone Penetration", Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Construction Facilities Division, Cambridge, Massachusetts 02139.
3. Levadoux, J.N. and Baligh, M.M. (1986), "Consolidation After Undrained Piezocone Penetration. I: Prediction", Journal of Geotechnical Division, ASCE, Vol. 112, No. 7. pp. 707-726.
4. Robertson, P.K. and Campanella, R.G. (1989), "Guidelines for Geotechnical Design using CPT and CPTU", Soil Mechanics Series No. 120, Civil Eng. Dept., Univ. of B.C., Vancouver, B.C., V6T 1Z4, Sept 1989.
5. Swedish Geotechnical Institute (1995), The CPT Test, Information 15E, pp 30-39.
(접수일자 1997. 7. 29)